Costruisci il tuo
LABORATORIO
e pratica subito con
L'ELETTRONICA
n. 5 - L. 12.900 - 6,66 euro
TEORIA
L'amplificatore operazionale
DIGITALE
LED a basso consumo
CONTROLLO
Alimentazione ininterrotta
Limitatore di corrente
TECNICA
Amplificatore invertitore
Amplificatore non invertitore
Inseguitore di tensione
LABORATORIO
Consigli e trucchi
IN REGALO in questo fascicolo:
1 Circuito integrato 741
4 Molle
1 Resistenza 47 Ω 5% 1/4 W
1 Diodo zener 5V6 400 mW
100 cm Cavo marrone
Peruzzo & C.
COSTRUISCI CON NOI IL TUO LABORATORIO PER REALIZZARE 100 ESPERIMENTI
9 771129 409005
00005

NUOVO METODO PRATICO PROGRESSIVO

Direttore responsabile:
ALBERTO PERUZZO
Direttore Grandi Opere:
GIORGIO VERCELLINI
Direttore operativo:
VALENTINO LARGHI
Direttore tecnico:
ATTILIO BUCCHI
Consulenza tecnica e traduzioni:
CONSULCOMP s.a.s.
Pianificazione tecnica:
LEONARDO PITTON

Direzione, Redazione, Amministrazione: viale Ercole Marelli 165, 20099 Sesto San Giovanni (Mi). Pubblicazione settimanale. Registrazione del Tribunale di Monza n. 1423 dell'12/11/99. Spedizione in abbonamento postale, gr. II/70; autorizzazione delle Poste di Milano n. 163464 del 13/2/1963 Stampa: Europrint s.r.l., Zelo Buon Persico (LO). Distribuzione: SO.DI.P. S.p.a., Cinisello Balsamo (MI).

LABORATORIO DI ELETTRONICA si compone di 52 fascicoli settimanali da collezionare in 2 raccoglitori

RICHIESTA DI NUMERI ARRETRATI

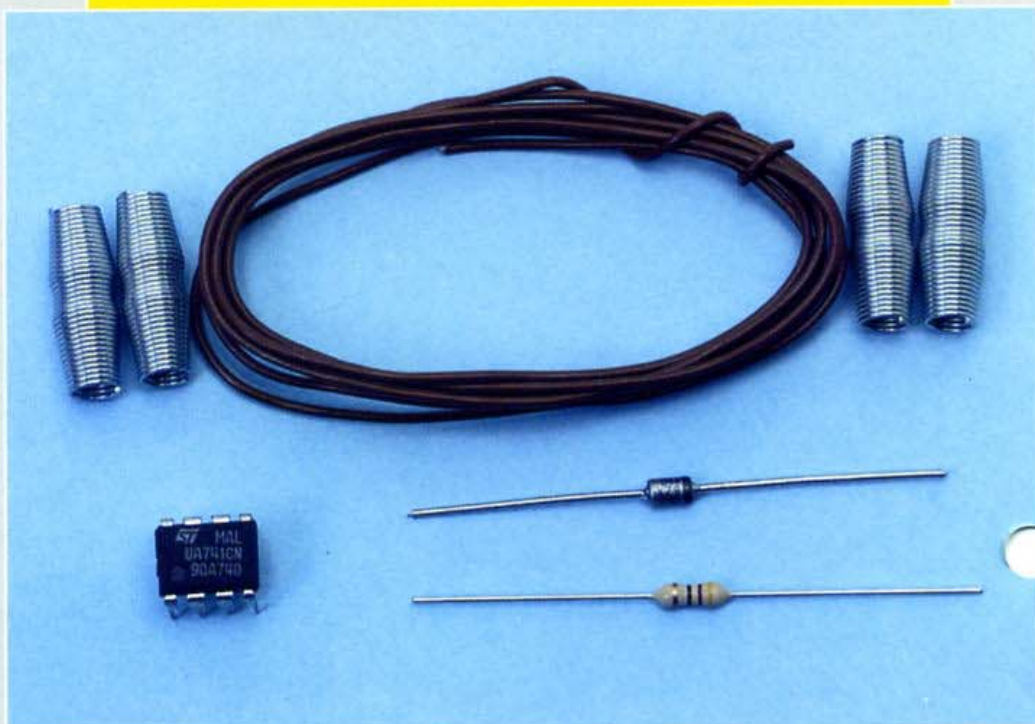
Se vi mancano dei fascicoli o dei raccoglitori per completare l'opera, e non li trovate presso il vostro edicolante, potrete riceverli a domicilio rivolgendovi direttamente alla casa editrice. Basterà compilare e spedire un bollettino di conto corrente postale a PERUZZO & C. s.r.l., Ufficio Arretrati, viale Marelli 165, 20099 Sesto San Giovanni (MI). Il nostro numero di c/c postale è 42980201. L'importo da versare sarà pari al prezzo dei fascicoli o dei raccoglitori richiesti, più le spese di spedizione (L. 3.000). Qualora il numero dei fascicoli o dei raccoglitori sia tale da superare il prezzo globale di L. 50.000 e non superiore a L. 100.000, l'invio avverrà per pacco assicurato e le spese di spedizione ammonteranno a L.11.000. La spesa sarà di L. 17.500 da L. 100.000 a L. 200.000; di L. 22.500 da L. 200.000 a L. 300.000; di L. 27.500 da L.300.000 a L. 400.000; di L. 30.000 da L. 400.000 in su. Attenzione: ai fascicoli arretrati, trascorse dodici settimane dalla loro distribuzione in edicola, viene applicato un sovrapprezzo di L.1.000, che andrà pertanto aggiunto all'importo da pagare. Non vengono effettuate spedizioni contrassegno. Gli arretrati di fascicoli e raccoglitori saranno disponibili per un anno dal completamento dell'opera.
IMPORTANTE: è assolutamente necessario specificare sul bollettino di c/c postale, nello spazio riservato alla causale del versamento, il titolo dell'opera nonché il numero dei fascicoli e dei raccoglitori che volete ricevere.

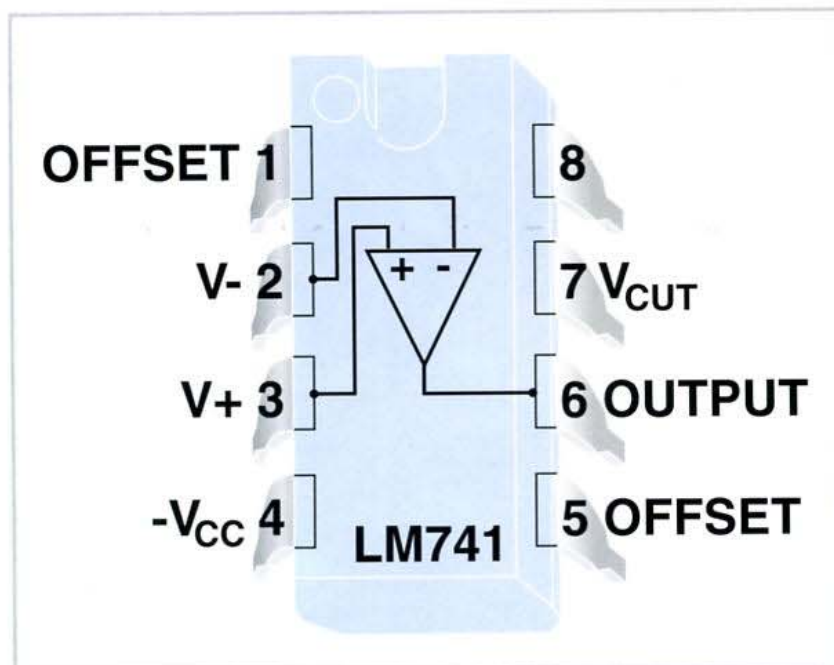
AVVISO AGLI EDICOLANTI DELLA LOMBARDIA

Si informano gli edicolanti della Lombardia e delle zone limitrofe che, per richieste urgenti di fascicoli e raccoglitori delle nostre opere, possono rivolgersi direttamente al nostro magazzino arretrati, via Cerca 4, località Zoate, Tribiano (MI), previa telefonata al numero 02-90634178 o fax al numero 02-90634194 per accertare la disponibilità del materiale prima del ritiro.

Costruisci il tuo LABORATORIO e pratica subito con L'ELETTRONICA

Controlla i componenti IN REGALO in questo fascicolo

1 Circuito integrato 741
4 Molle
1 Resistenza 47 Ω 5% 1/4 W
1 Diodo zener 5V6 400 mW
100 cm Cavo marrone

In questo numero si forniscono nuovi componenti per realizzare esperimenti, molle per continuare a montare il laboratorio e vari cavi per interconnessione.

L'amplificatore operazionale

Distribuzione dei terminali del circuito integrato 741.

golo dal quale escono tre terminali come minimo. Questo non vuole dire che un amplificatore operazionale ha solo tre connessioni, ma che i suoi tre segnali principali (due per l'entrata e uno per l'uscita) sono quelli che si rappresentano.

Oltre a questi terminali principali, quello di collegamento di un amplificatore operazionale può anche avere terminali di compensazione per la risposta in frequenza e una rete di compensazione per la tensione continua che può essere presente all'entrata o all'uscita e, naturalmente, i terminali di alimentazione. I terminali di entrata dell'amplificatore operazionale sono differenti fra loro. Uno di essi corrisponde all'entrata invertitore e si indica con il segno "-" e l'altro, segnalato con "+", corrisponde all'entrata non invertitore. Questa denominazione si riferisce all'inversione di segno che l'uscita ha rispetto all'entrata.

Caratteristiche

L'amplificatore operazionale ideale ha guadagno infinito. In realtà non è così, ma è molto elevato, in tal modo, se alimentiamo l'amplificatore operazionale e applichiamo una tensione leggermente superiore all'altra, questa sarà quella che determina se l'uscita è positiva o negativa, avvicinandosi al massimo di alimentazione, positiva o negativa, supposto che gli A.O. funzionino con alimentazione simmetrica.

Se la tensione applicata all'entrata non invertitore è leggermente superiore a quella invertitore, quello che succede è che l'uscita è praticamente la tensione di alimentazione positiva. Tuttavia, se l'entrata invertitore è di maggior livello, anche l'uscita si avvicina al limite di tensione della fonte di alimentazione, però in questo caso a quella negativa. Questo sembra problematico, perché una piccola differenza di tensione può far sì che la tensione di uscita passi da un livello molto alto a uno molto basso, o viceversa.

Questo problema si risolve aggiungendo delle resistenze di controreazione al circuito, il che

Il circuito 741 è un classico nell'elettronica.

L'amplificatore operazionale

ci permette di controllare il guadagno dello stesso.

Amplificatore invertitore

Questo circuito utilizza come entrata quella invertitore dell'amplificatore operazionale. La resistenza di rialimentazione, rappresentata nel nostro schema con R_B, è collegata fra l'uscita e l'entrata invertitore; il suo compito è rialimentare parte del segnale dall'uscita all'entrata. Benché supponiamo che il guadagno dell'A.O. sia infinito, il circuito completo ha un guadagno perfettamente controllato dai valori delle resistenze R_A e R_B, essendo il valore di questo guadagno compreso fra la resistenza R_B e la R_A.

Il segno (-) indica inversione di polarità, cioè se il segnale applicato all'entrata è positivo, all'uscita ci sarà un segnale negativo, ma amplificato o viceversa. Se è un segnale alternato l'inversione si noterà appena.

La resistenza R_C ha poca importanza nel funzionamento, di solito si utilizza un valore vicino al parallelo delle altre due.

Amplificatore non invertitore

Anche questo amplificatore è controreazionato, ma non inverte la polarità del segnale di entrata. La resistenza di controreazione è R_C, e il suo guadagno si controlla perfettamente. In questo caso il guadagno si calcola dividendo il valore della resistenza R_C per quello della resistenza R_B e aggiungendo un'unità al risultato. Anche questo circuito è molto utilizzato.

Distribuzione dei terminali di un circuito integrato 324.

Il circuito integrato 324 contiene quattro amplificatori operazionali nel suo interno e si può utilizzare con alimentazione asimmetrica.

Incapsulati e presentazione

Le presentazioni più comuni sono la capsula di plastica DIL-8, che ha uno o due amplificatori al suo interno, e la capsula DIL-14 di solito usata per circuiti integrati che contengono quattro A.O. al loro interno.

Ci sono molti tipi di capsule: metalliche, ceramiche e anche SMD, cioè per montaggio superficiale, ma il loro uso è più indicato nel campo professionale.

L'amplificatore operazionale

Questi circuiti si utilizzarono all'inizio per realizzare operazioni matematiche in calcolatori analogici.

Se chiedessimo a un ingegnere elettronico qual è l'elemento più importante, più utilizzato o più utile fra quelli che esistono attualmente, al di fuori evidentemente di quelli di base come resistenza, condensatore e transistor, probabilmente risponderebbe che sono gli amplificatori operazionali.

Lo sviluppo di questo tipo di amplificatori durante gli anni Sessanta, insieme alla grande avanzata della tecnologia nella fabbricazione dei circuiti integrati, ha ottenuto che, attualmente, abbiamo amplificatori operazionali con un gran margine di affidabilità, compatti e di facile utilizzo.

L'amplificatore operazionale, A.O., è alimentato normalmente da due tensioni simmetriche.

La storia

I primi amplificatori operazionali erano fabbricati con componenti discreti, valvole a vuoto, e si usavano nei calcolatori analogici; avevano una dimensione considerevole e il loro uso era limitato agli esperti in materia.

Questi calcolatori potevano realizzare operazioni matematiche di una certa complessità, benché non somigliassero per niente ai calcolatori attuali.

Con la comparsa del transistor si realizzarono alcuni apparecchi di dimensione più ridotta, finché arrivò la rivoluzione più importante con il circuito integrato mA702 di Fairchild, di aspetto e caratteristiche principali molto simili agli A.O. attuali. A parte il fatto che i calcolatori analogici non sono più usati e fanno parte della storia, l'amplificatore operazionale si utilizza in moltissime applicazioni, poiché le sue caratteristiche, specialmente la facilità a calcolare il suo guadagno, lo rendono idoneo per realizzare progetti con rapidità e sicurezza. Hanno un ampio margine di tensione di alimentazione ed esistono una grande quantità di modelli diversi utilizzati per varie applicazioni; ciononostante, con i modelli di uso più frequente, e pertanto più economici, si risolvono quasi tutti i circuiti.

L'amplificatore differenziale è la base dell'amplificatore operazionale.

L'amplificatore differenziale

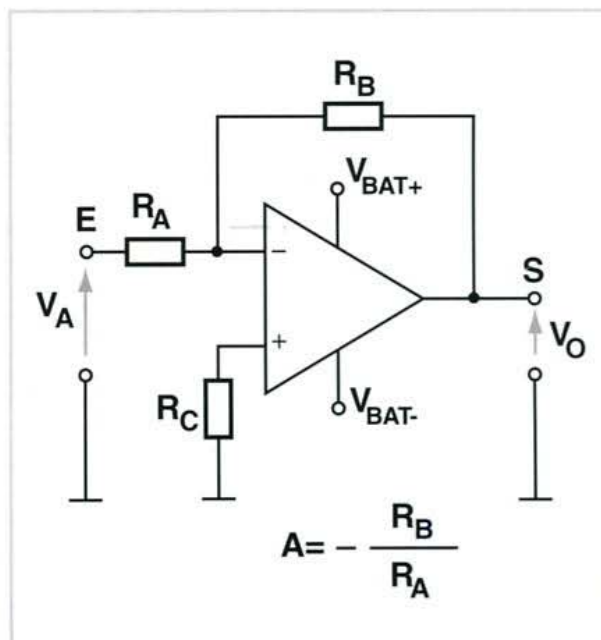
Per comprendere il funzionamento di un amplificatore operazionale bisogna descrivere prima quello di un amplificatore differenziale.

La sua principale funzione è di amplificare la differenza fra due segnali applicati ad ognuna delle sue entrate. Si potrebbe applicare la seguente formula:

$$V_O = A(V_A - V_B)$$

dove V_A e V_B sono le tensioni esistenti in ognuna delle entrate e V_O è la tensione all'uscita

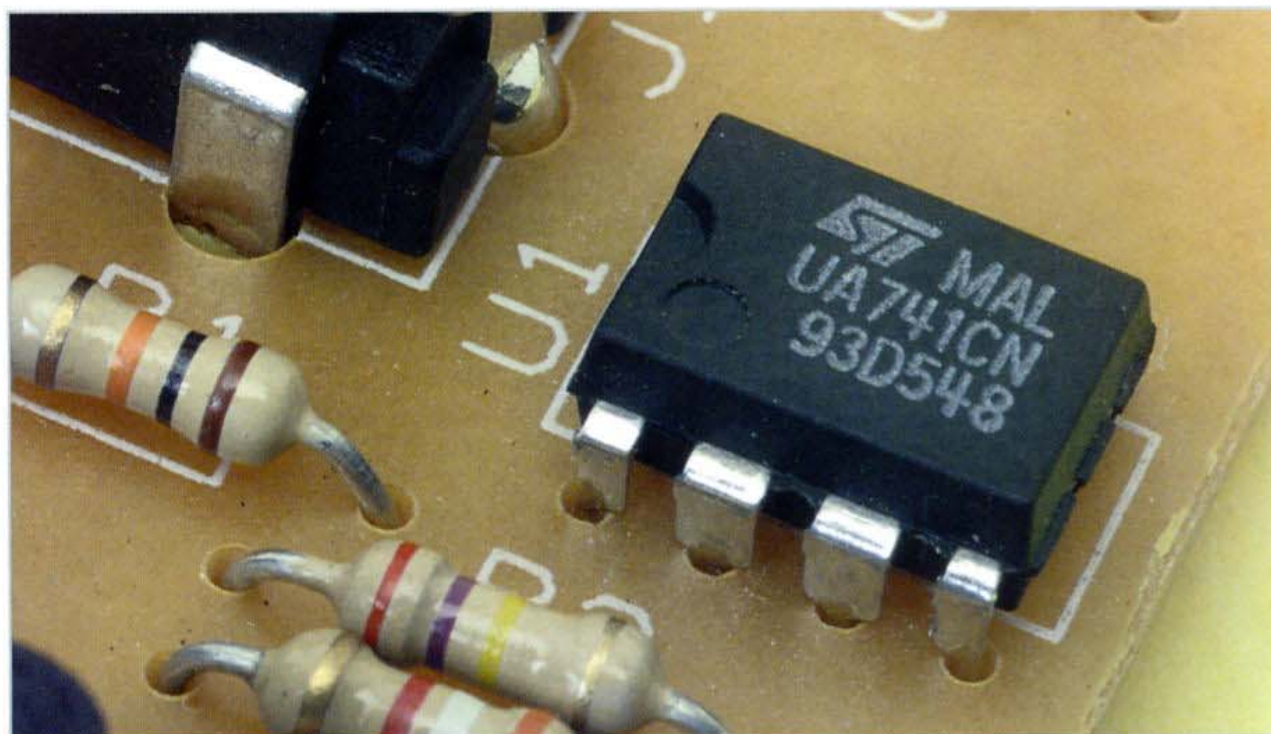
L'amplificatore operazionale

Amplificatore operazionale configurato come amplificatore non invertitore.

Amplificatore invertitore costruito con un amplificatore operazionale.

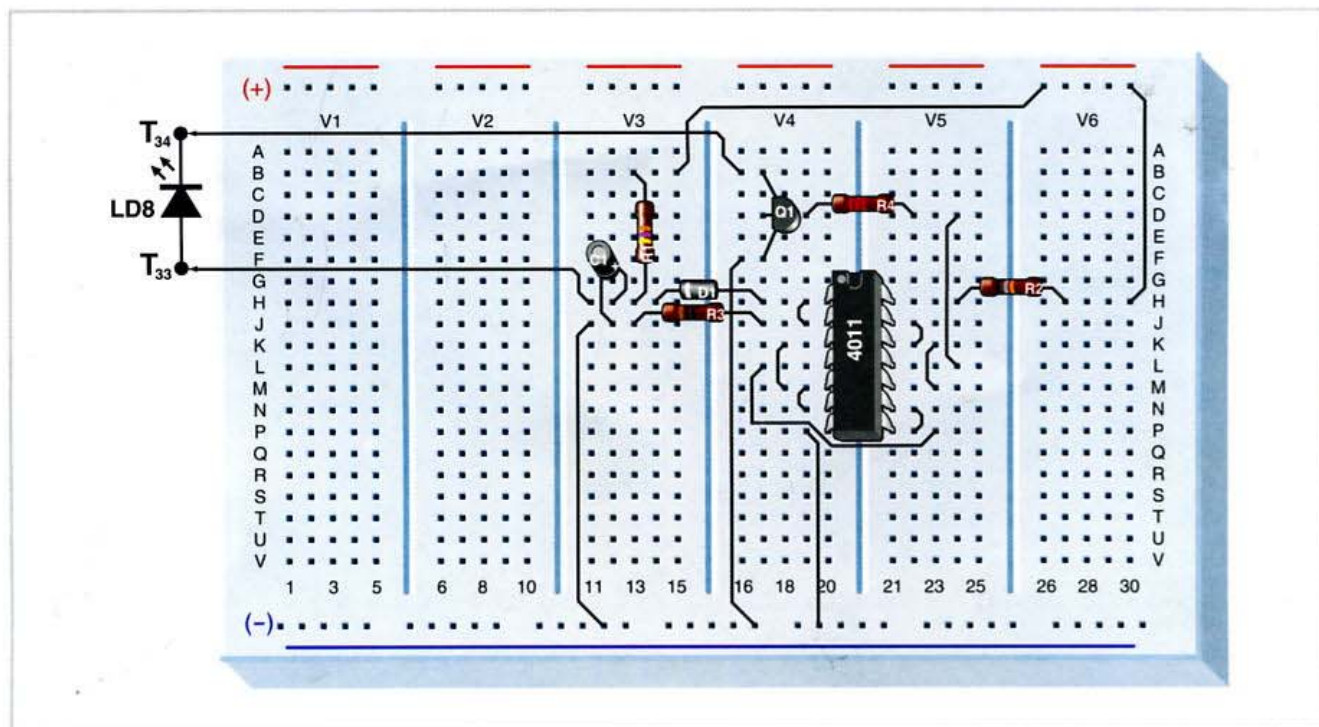
dell'amplificatore. Nel caso in cui il segnale applicato a entrambe le entrate sia esattamente uguale, l'uscita sarebbe nulla. Tuttavia, se sono segnali diversi, ma con qualche componente comune, questi ultimi saranno eliminati o attenuati.

La lettera A indica il guadagno o il fattore di amplificazione.

L'A.O.

L'amplificatore operazionale si rappresenta con A.O. e il suo simbolo nei circuiti è un trian-

Gli amplificatori operazionali sono componenti di uso abituale in una gran quantità di circuiti.

LED di basso consumo

Si ottiene un diodo LED che lampeggia, ma con consumo minimo.

Ogni giorno aumentano gli apparecchi che funzionano con batterie, e perché questi possano essere operativi e affidabili devono avere un'autonomia di funzionamento ogni volta maggiore, il che ci costringe a realizzare circuiti di minore consumo.

Una di queste riduzioni di consumo si può applicare al circuito pilota che di solito gli apparecchi hanno per indicare che sono attivati.

Funzionamento

Il circuito ha un principio di funzionamento molto semplice. Il condensatore C1, che si carica attraverso la resistenza C1 in modo lento, è quello incaricato di immagazzinare l'energia che il diodo LED consuma in ogni lampeggio, momento in cui si scarica il condensatore.

Pertanto questa rete R-C determina il tempo tra un lampeggio e l'altro. A maggiore valore del condensatore corrisponderà una maggiore energia immagazzinata e più intenso sarà il lampeggio del LED.

Il diodo zener

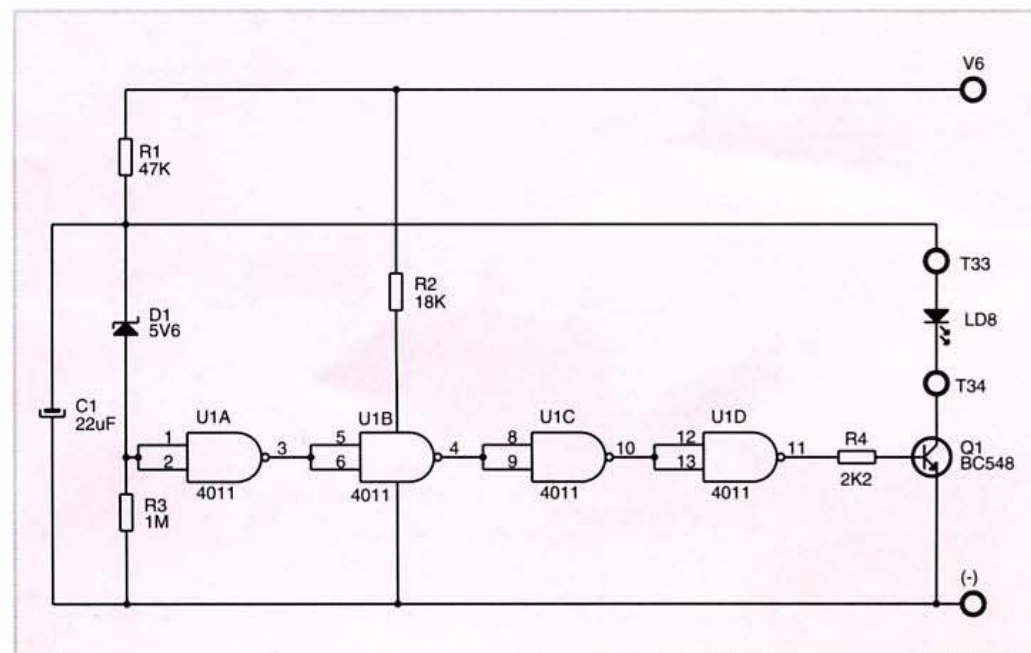
Questo particolare tipo di diodo si usa per stabilizzare la tensione. Quando si polarizza direttamente, cioè con l'anodo a positivo e il catodo a negativo, funziona come un diodo semiconduttore normale, con 0,6 V fra i suoi estremi, ciononostante, all'inverso con una resistenza associata in serie, mantiene fra i suoi estremi la tensione, che indica con molta precisione. In questo circuito il diodo zener è di 5,6 V.

Il montaggio

Prima di collegare l'alimentazione, il condensatore è completamente scarico, per cui il diodo zener non è polarizzato e la tensione nell'entrata della porta U1A sarà a basso livello, "0", il che produrrà un livello basso all'uscita, e il transistor sarà in stato di interdizione, perciò il diodo LED non si illuminerà.

Quando colleghiamo l'alimentazione, il condensatore C1 comincia a caricarsi attraverso la resistenza R1, così come abbiamo indicato, e quando raggiunge e supera la tensione dello zener, cioè 5,6 V, questo conduce e nell'entrata della porta U1A si introduce un livello alto, "1", il quale circola all'uscita del quarto invertitore e si applica alla base del transistor, che entrando in conduzione illuminerà così il diodo LED. In que-

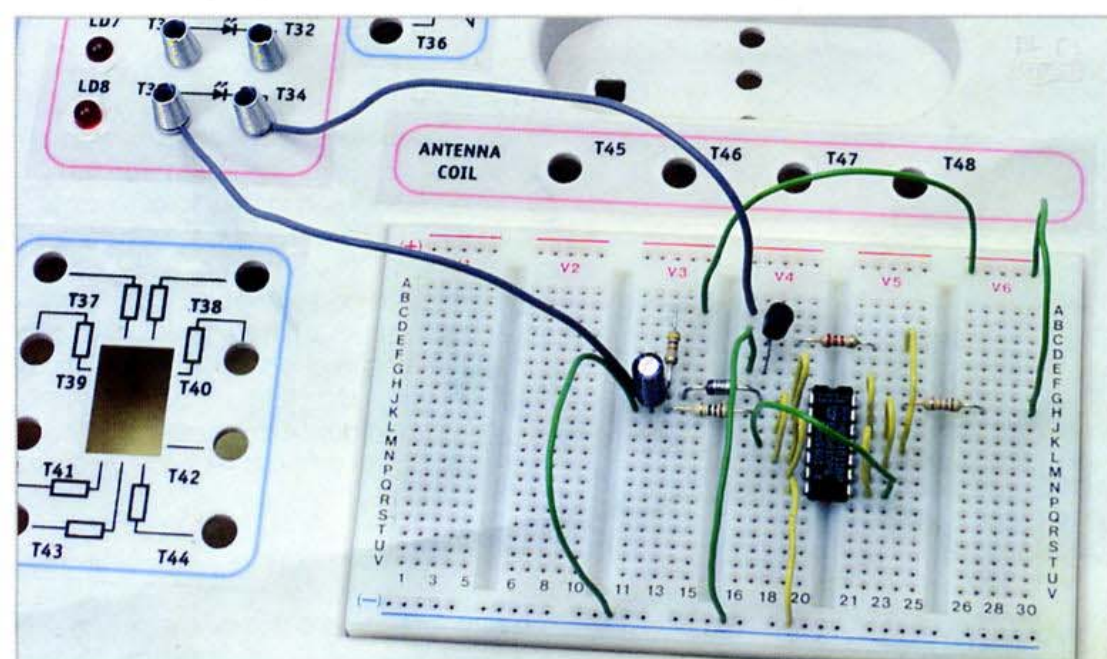
Nei circuiti alimentati a pile bisogna ridurre la corrente consumata

LED di basso consumo

COMPONENTI	
R1	47K
R2	18K
R3	1M
R4	2K2
C1	22 µF
D1	Diodo zener 5V6
Q1	BC548
U1	4011
LED8	

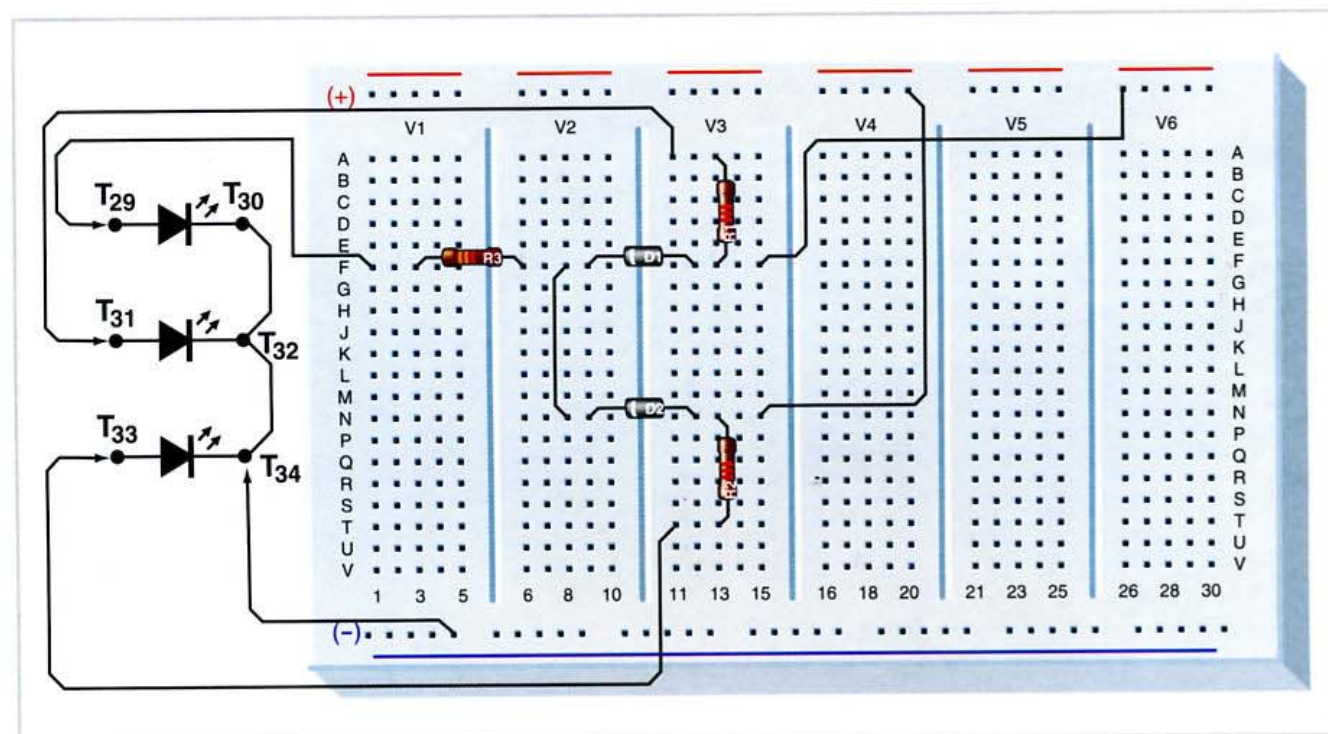
sto momento l'energia immagazzinata nel condensatore passerà al diodo LED e si scaricherà, per cui torniamo allo stato iniziale, nel quale il condensatore inizierà a caricarsi fino a superare la tensione dello zener.

Prove sperimentali

Nel circuito, dunque, abbiamo il diodo LED che si accende lampeggiando, il che fa sì che abbia un consumo medio di 0,2 mA, che è ideale per apparecchi alimentati a pile o batterie. Possiamo realizzare variazioni della resistenza R1 per verificare che all'aumentare del suo valore si avrà un tempo più lungo fra un lampeggio e l'altro, ma la durata non si allungherà mai.

Per questo dobbiamo variare la capacità del condensatore. Se la aumentiamo, mettendo in parallelo gli altri condensatori, incrementeremo il tempo di accensione del diodo, poiché si immagazzinerà una energia maggiore; se riduciamo la capacità mettendo invece di 22 µF un condensatore di 2,2 µF vedremo appena il lampeggio. Questo circuito si può anche utilizzare per simulare l'esistenza di un allarme.

Se aumentiamo il valore di R1 a 1M, osserviamo che aumenta il tempo fra i lampeggi.

Alimentazione ininterrotta

Questo circuito permette di mantenere l'alimentazione mentre si cambiano le batterie.

Il circuito di base è formato da due diodi: D1 e D2. Fra l'anodo di uno di essi e (-) si posiziona una fonte di alimentazione o batteria, e si procede in uguale modo con l'altro diodo. L'apparecchio che vogliamo alimentare si collega fra il punto di unione di entrambi i diodi e (-).

La commutazione

La commutazione fra una e l'altra fonte è automatica, cionononostante bisogna tenere conto che per fare sì che circoli corrente per un diodo, bisogna superare la sua tensione di soglia di conduzione. Se entrambe le fonti di alimentazione hanno la stessa tensione, la corrente fornita da ognuna di esse è uguale a quella fornita dall'altra.

Tuttavia se la tensione di una supera quella dell'altra, sarà quella di tensione maggiore che alimenterà tutto il carico. Nel nostro esperimento il carico si rappresenta con il diodo LED 6 e la sua corrispondente resistenza di polarizzazione. Se una delle due fonti manca, o semplicemente si sconnette, l'altra fornirà tutta la corrente che può assorbire il carico.

Esperimento 1

Il circuito che proponiamo di montare nel laboratorio utilizza tre diodi LED per mostrare il suo funzionamento, benché non siano necessari per il funzionamento dello stesso. Il diodo LED 7 si illuminerà solo quando ci sia una tensione applicata all'anodo del diodo D1. Allo stesso modo il diodo LED 8 si accende unicamente quando si applica tensione all'anodo del diodo D2.

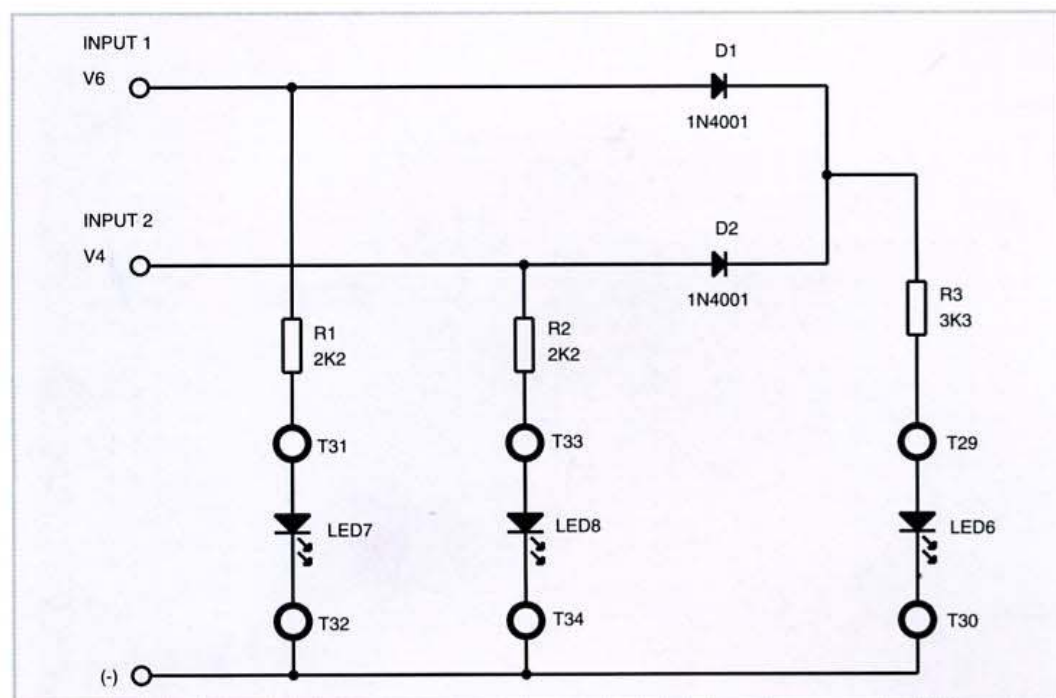
Ciononostante il diodo LED 6 brilla quando si applica tensione all'anodo di D1, di D2 o a entrambi simultaneamente.

Questo si può provare facendo il collegamento a V6, col quale si spegnerà il diodo LED 7, tuttavia se torneremo a collegare a V6 si illumineranno tutti i LED. Se ripetiamo l'operazione scollegando V4, vedremo che il LED 8 si spegne, mentre il LED 6 è sempre illuminato.

Alimentazione ininterrotta

Supponiamo che invece del diodo LED 6 e la sua resistenza sia collegato un apparecchio che non può spegnersi. Un modo molto semplice per mantenere l'alimentazione senza interromperla è collegare una fonte di alimentazione fra l'anodo di D1 e (-), per alimentare questo apparecchio. Se manca la fonte, per esempio come conseguenza di un guasto della rete, l'apparecchio cessa di essere alimentato, ma se fra l'anodo dell'altro diodo e (-) colleghiamo

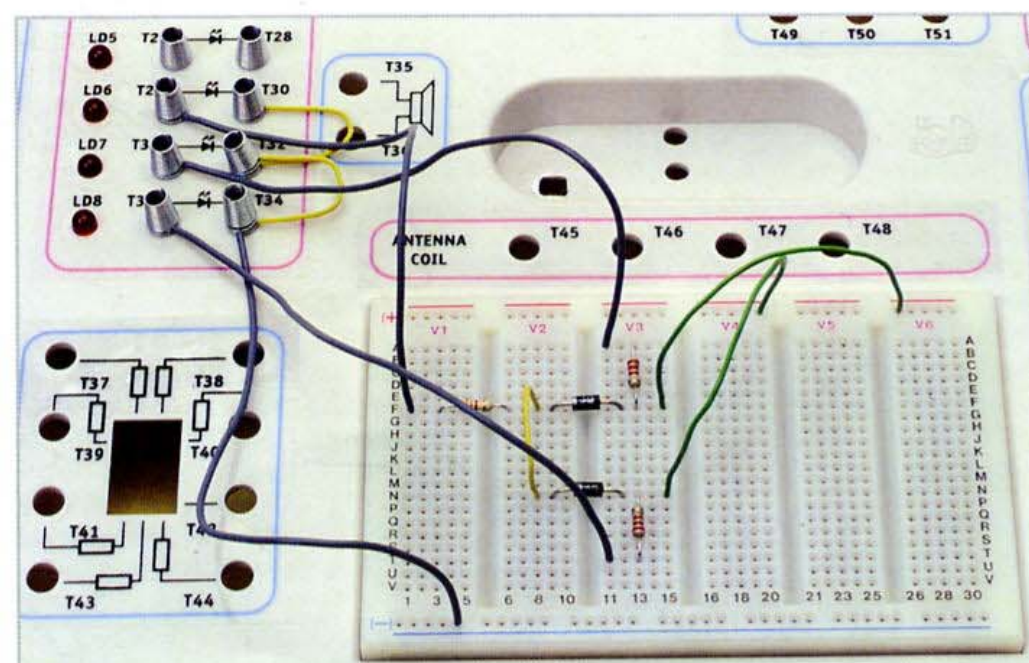
Due diodi con i catodi uniti

Alimentazione ininterrotta

COMPONENTI	
R1, R2	2K2
R3	3K3
D1, D2	1N4001
LED6, LED7, LED8	

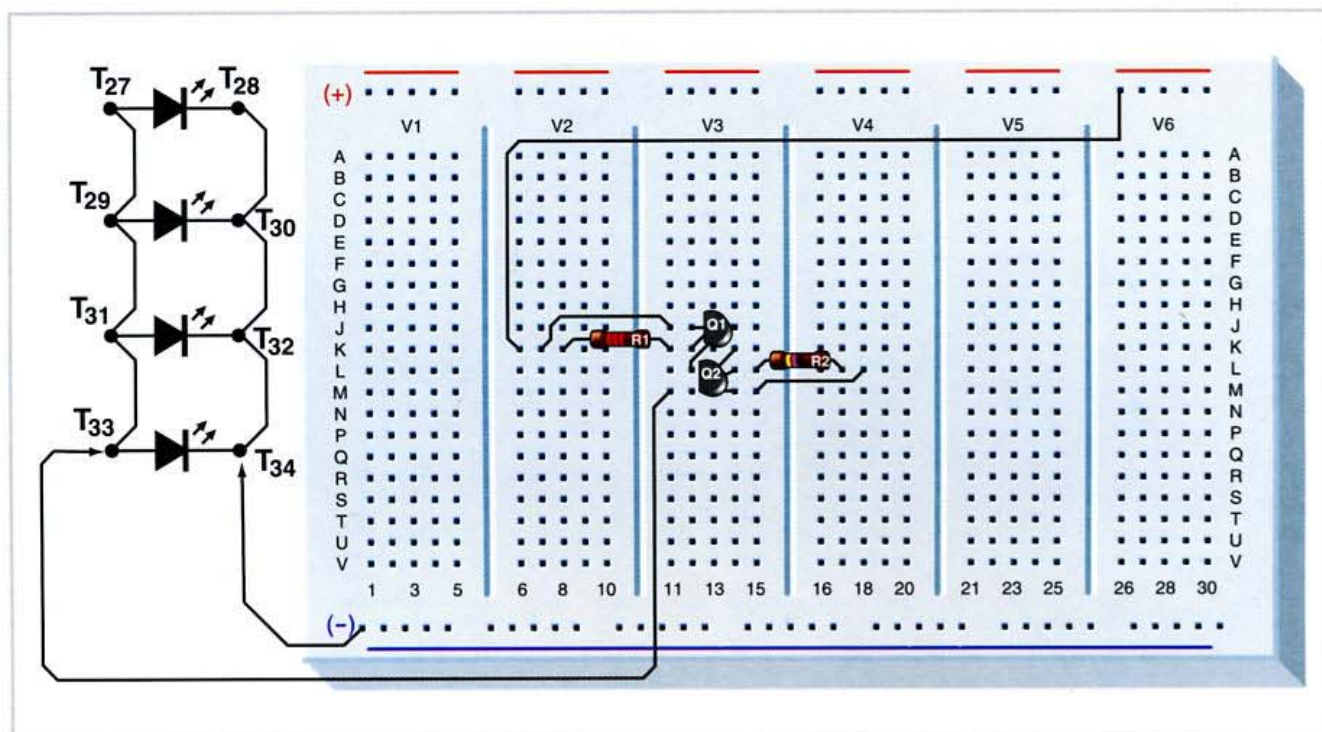
una pila o batteria, possiamo togliere la fonte di alimentazione, anche spegnerla, per realizzare lavori di mantenimento nella stessa.

Senza dubbio bisogna tenere conto che perché la batteria non si scarichi, la tensione della fonte di alimentazione deve essere approssimativamente 1V superiore a quella della batteria, affinché la tensione nel catodo del diodo sia superiore a quella dell'anodo e pertanto la batteria non fornisca la corrente quando la fonte di alimentazione funzioni correttamente.

La corrente

Questo circuito, benché molto semplice, è molto utile; inoltre, il modello di diodo utilizzato permette una circolazione di corrente fino a 1A. Un esempio di utilizzo sono le radiosveglie alimentate a rete, che devono avere un'alimentazione ausiliare per evitare che si cancelli la programmazione quando ci sono guasti nella rete. Questo circuito si può usare solo in continuo ed esige aprire l'apparecchio per trovare l'uscita della fonte di alimentazione interna e collegare in questo punto i due diodi. Si deve poi cercare la pila della tensione adatta.

Circuito di alimentazione ininterrotta basato su due diodi.

Limitatore di corrente

Il circuito limita la corrente massima che fornisce.

Il circuito è disegnato come protettore di circuiti. Qualsiasi circuito, allo stato normale, ha un consumo più o meno fisso e solo un cattivo funzionamento dello stesso può fare sì che il consumo aumenti. Per evitare ciò e prevenire pertanto la distruzione dei nostri circuiti, abbiamo disegnato un circuito nel quale possiamo regolare la corrente massima che può consumare il circuito alimentato.

La corrente limite dipende dal valore di una resistenza

Se per qualche motivo superiamo questo valore, la corrente smette di aumentare nel momento in cui il transistor Q1 si chiude. Le applicazioni più generali possono essere per proteggere fonti di alimentazione e per circuiti prototipi con i quali si sta sperimentando, in questo modo evitiamo forti correnti; possiamo anche utilizzarlo per polarizzare uno o vari diodi LED, quando la tensione di alimentazione varia molto di livello.

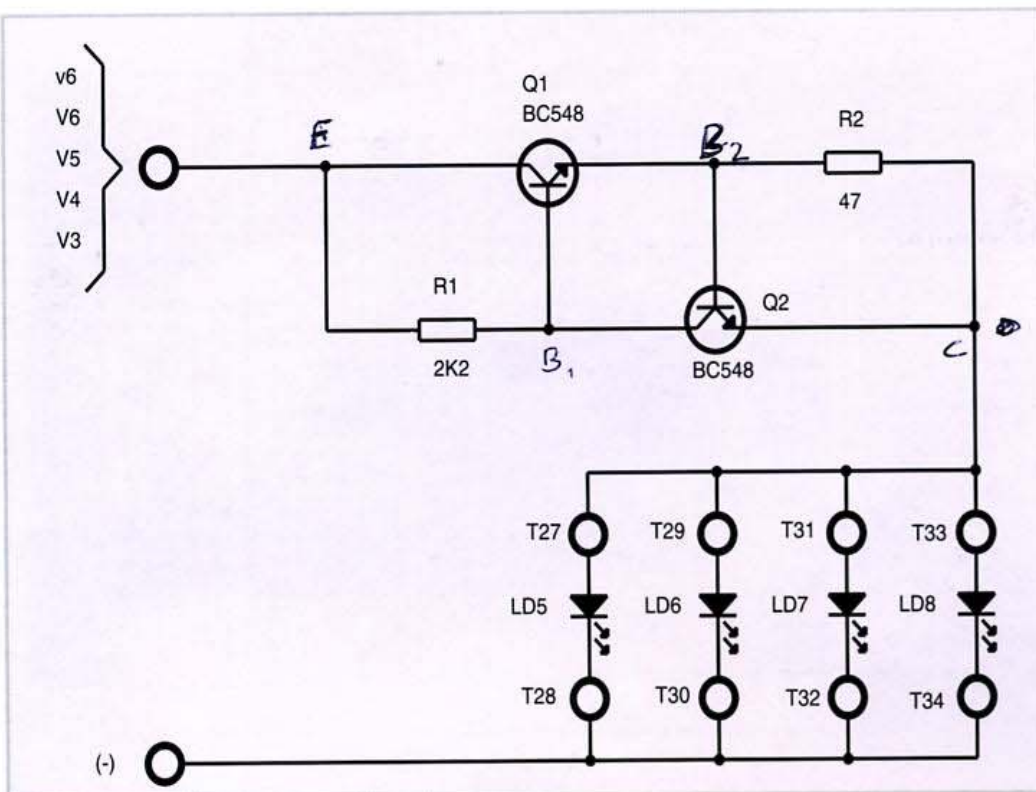
Funzionamento del circuito

Il circuito ha un transistor Q1 che conduce quando ha la base polarizzata con la resistenza R1; d'altra parte tutta la corrente che circola all'uscita, cioè che il circuito collegato assorbe, passa attraverso R2, che ha la vera funzione di limitare.

Collegando il transistor Q2 vediamo che, finché in R2 non cadono 0,6 V, il transistor sarà chiuso, pertanto è come se non fosse collegato. Nel momento in cui aumenta il consumo del circuito collegato al nostro montaggio e cadono 0,6 V in R2, il transistor Q2 si polarizza, perciò la sua corrente di collettore va a fare parte della base di Q1 e questo condurrà meno, cadendo abbastanza la tensione tra il suo collettore-emettitore e abbassando così la tensione di uscita considerevolmente. Così Q1 è quasi un interruttore attivato o disattivato in modo automatico e comandato direttamente dalla corrente che rileva Q2.

Limitazione di corrente

Basta applicare la legge di Ohm per comprendere il funzionamento del circuito e calcolare il valore della resistenza R2, sapendo che fra i suoi estremi devono cadere 0,6 V e la corrente che vogliamo limitare. In questo modo nel montaggio abbiamo una resistenza di 47 Ω, per la quale, secondo quanto detto, la corrente che limiteremmo sarebbe di 12,7 mA, che si ottiene dividendo direttamente 0,6/47 Ω. In realtà è molto maggiore, forse gli 0,6 V non sono esatti, inoltre la resistenza ha la sua tolleranza.

Limitatore di corrente

COMPONENTI	
R1	2K2
R2	47Ω
Q1,Q2	BC548
LED5, LED6	
LED7, LED8	

Il montaggio

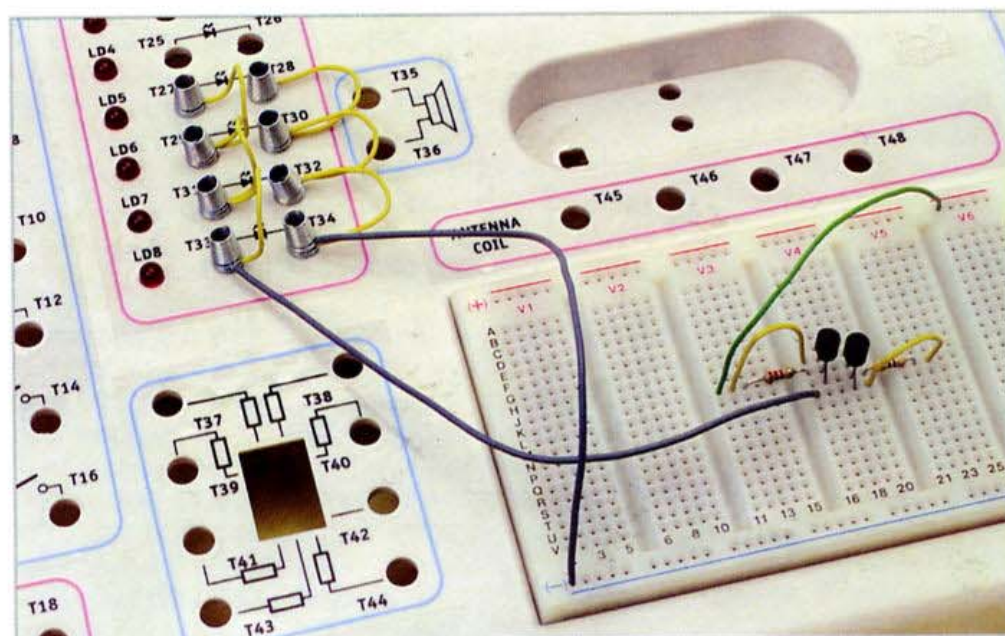
Nel circuito i diodi LED si illuminano finché lo stesso abbia una resistenza limitatrice, cioè, l'effetto di avere collocato quattro diodi in parallelo non è altro che dividere la corrente totale in quattro e percepire meglio le variazioni della limitazione di corrente. I diodi si illuminano anche cambiando la tensione di alimentazione a 3, 4,5, 6, 7,5 o 9 V. Se si fosse utilizzata una resistenza limitatrice si noterebbe una grande diminuzione dell'intensità di illuminazione del LED, quando si abbassa della tensione di alimentazione.

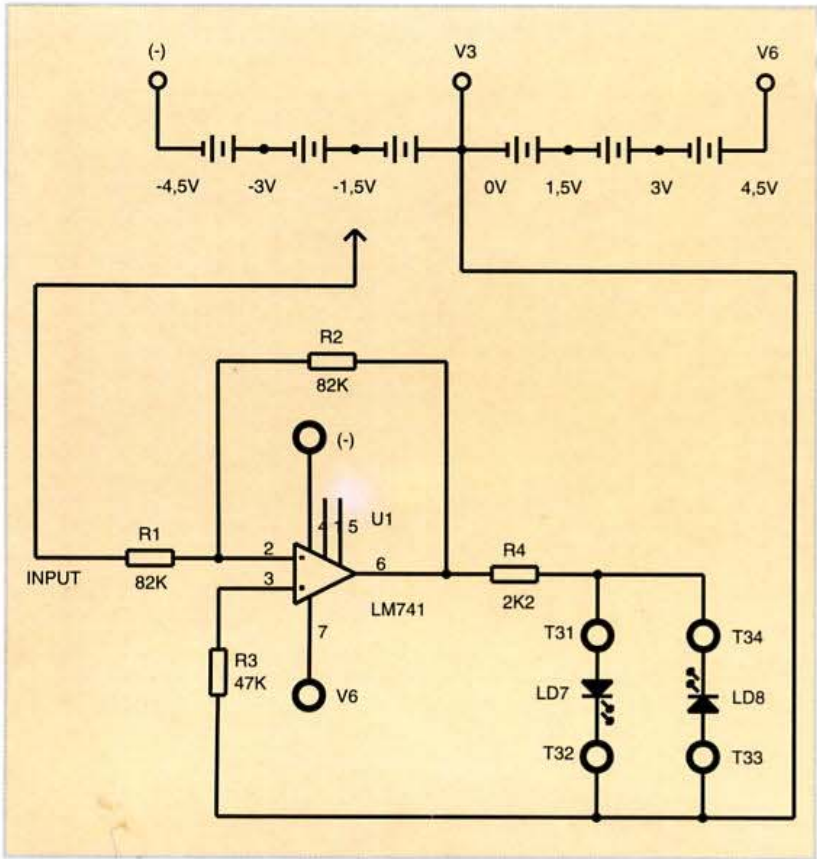
Caricatore

Questo circuito si può usare per ricaricare batterie a corrente costante.

Basta togliere i diodi LED e collegare la batteria, il positivo alla resistenza R2 e il negativo a (-).

Si possono collegare varie pile in serie, per esempio quattro. Data la ridotta corrente, questo circuito è utile solo per caricare piccole batterie della dimensione AA, o R6 come massimo.

Le batterie non dovranno mai essere collegate in parallelo, benché se ne possano caricare più di una, fino a quattro, ma andranno collegate in serie senza modificare il circuito di carica.

Con questo circuito si limita la corrente che circola in un altro circuito.

Amplificatore invertitore

COMPONENTI	
R1, R2	82K
R3	47K
R4	2K2
U1	LM741
LED7, LED8	

Il montaggio

Gli amplificatori operazionali si alimentano normalmente in modo simmetrico, cioè con due fonti di alimentazione, una positiva e l'altra negativa, collegate in serie in modo che il punto d'unione fra loro corrisponda alla tensione zero. Queste tensioni sono disponibili nel laboratorio, se prendiamo il punto V3 come zero risulta che V6 è +4,5 V in alto e (-) sarà -4,5 V in basso. In conclusione si utilizzano tre pile per l'alimentazione positiva e altre tre per la negativa, prendendo il punto di unione di entrambe come la massa del circuito. Perciò avremo +4,5 V e -4,5 V per alimentare i terminali di alimentazione dell'amplificatore operazionale. Con questo, se all'entrata abbiamo tensioni positive e negative, all'uscita avremo le stesse tensioni amplificate dal guadagno del circuito, però invertite nel segno. Nel circuito abbiamo messo due diodi LED invertiti, in modo che uno, LD8, si illumina con tensioni positive e l'altro, LD7, con tensioni negative all'uscita.

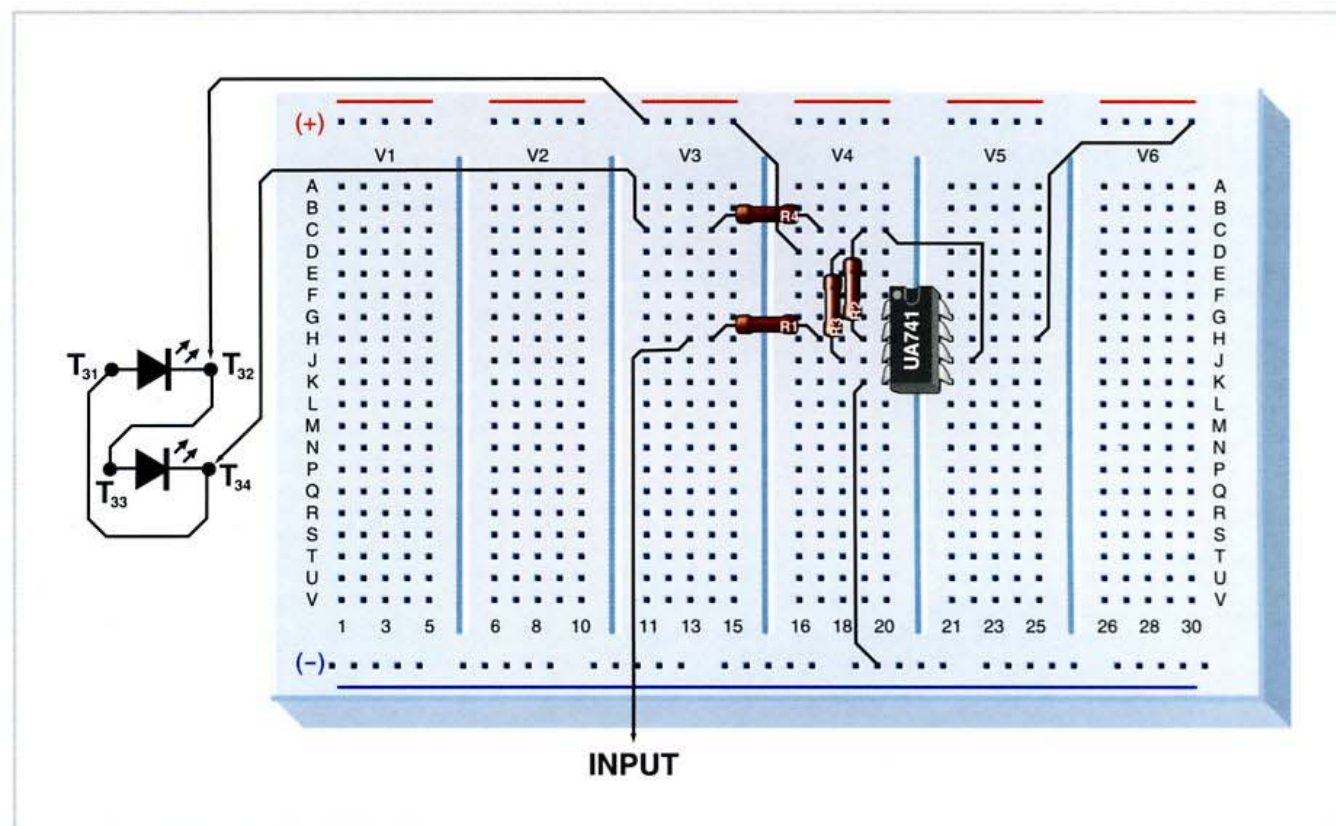
In questo circuito il rapporto è 1, poiché le due resistenze, R1 e R2, sono uguali, in questo modo possiamo, toccando nei punti di unione di ognuna delle pile (V1 e V6), introdurre nell'entrata INPUT, per esempio -3 V, ottenendo nell'uscita +3 V. Le tensioni di entrata sembrano avere cambiato in uscita la polarità, per cui, quando si applicano tensioni negative all'entrata si illuminerà il LED 7, che indica uscita con tensione positiva e viceversa.

Per ottenere una tensione simmetrica prendiamo la massa nel punto medio delle pile, cioè dalla fila di contatti indicata come V3.

Esperimento

Adesso possiamo cambiare la resistenza di controreazione R2 con una di 100 K e R1 con un'altra di 47 K, in modo che il guadagno sia un po' più di 2, per cui, se introduciamo le tensioni che abbiamo indicato prima, vedremo che per le tensioni di 3 e 4,5 V, sia positive che negative, la luminosità del diodo non varia, perché la tensione di uscita è la massima. In questi casi diciamo che l'amplificatore è saturato.

Amplificatore invertitore

Amplifica il livello del segnale d'entrata, ma inverte la sua polarità.

Questo circuito si può utilizzare per amplificare segnali continui e alternati, così come segnali audio. Il guadagno varia in modo semplice modificando solo il valore di una resistenza.

Il nome di "invertitore" deriva dal fatto che il segnale di uscita è invertito di 180° rispetto a quello in entrata, in pratica avremo, con un segnale di entrata positivo l'uscita negativa e viceversa.

Tecnica di controreazione

La precisione e la flessibilità dell'amplificatore operazionale deriva dall'uso della controreazione negativa. Utilizzando questo metodo generalmente miglioriamo le caratteristiche di operazione, benché si sacrifichi una gran parte del guadagno, o fattore di amplificazione.

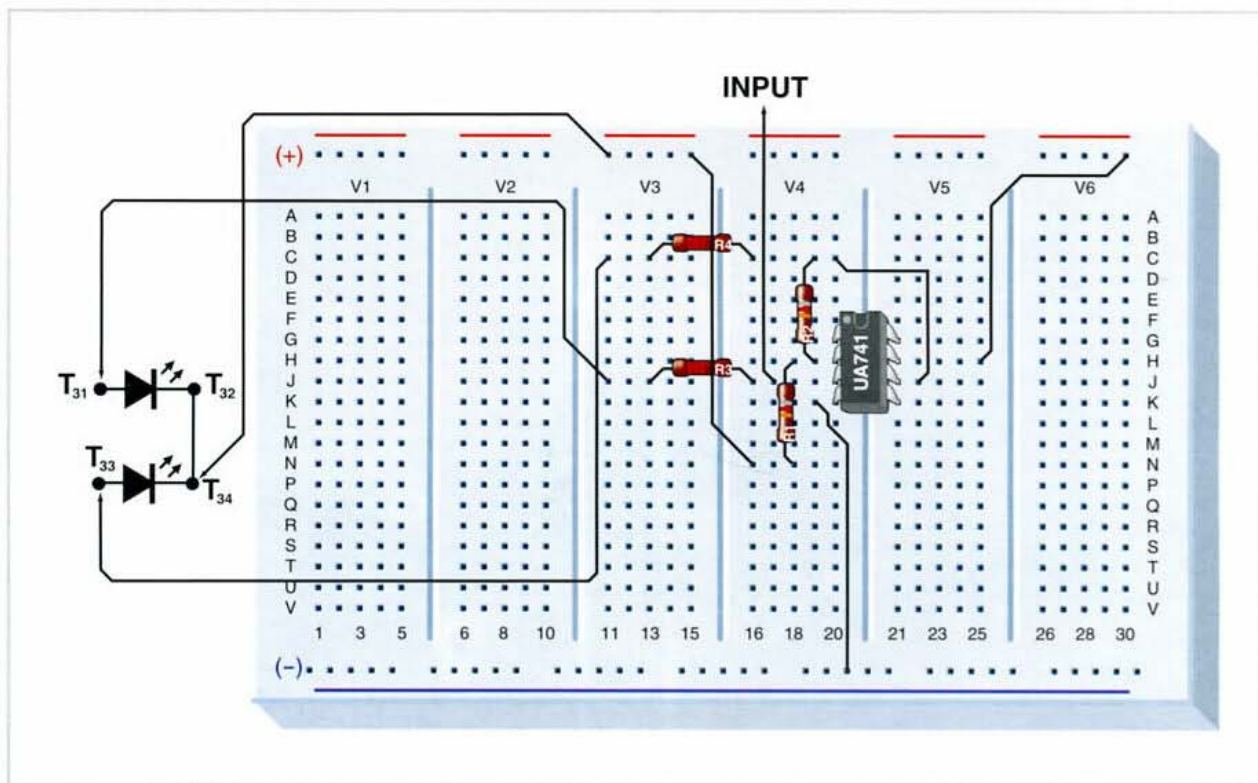
Abbiamo detto che esiste una controreazione quando parte del segnale di uscita si introduce di nuovo nell'entrata. In pratica questo succede se abbiamo qualche componente, come in questo caso la resistenza R2, che unisce l'entrata V- dell'operazionale con l'uscita dello stesso. Il guadagno dell'amplificatore dipende direttamente dal valore di questa resistenza.

Il guadagno dipende dalla relazione fra due resistenze

Funzionamento

Il circuito ha un principio di funzionamento molto semplice. Il segnale di entrata si applica al terminale invertitore o negativo dell'amplificatore e il positivo o non invertitore si porta a massa. La resistenza R2, che va dall'uscita al terminale di entrata negativo, si chiama di reazione, perciò possiamo dire che abbiamo controreazione e questa è negativa. Dobbiamo tenere conto di alcuni aspetti nella controreazione negativa. La tensione di uscita sarà $Vs= -(R2/R1)Ve$, essendo il rapporto la relazione fra R2/R1, cioè il fattore di amplificazione per il quale bisogna moltiplicare la tensione di entrata per calcolare la tensione di uscita. Il segno meno è il risultato dell'inversione di segnale che realizza il circuito.

Amplificatore non invertitore

Il segnale di uscita è in fase con quello di entrata, ma amplificato.

Questo circuito amplifica il segnale applicato alla sua entrata, sia continuo che alternato. Il segnale di uscita è esattamente uguale a quello di entrata, amplificato dal guadagno, dato dalla relazione fra la resistenza di controreazione R2 e R1, che in questo caso non corrispondono con quelle di entrata.

Funzionamento

Anche in questo circuito esiste una controreazione, e vediamo che avviene tra l'uscita e il secondo terminale dell'amplificatore operazionale, attraverso la resistenza R2, ed è negativa. Il segnale di entrata si applica al terminale non invertitore o positivo dell'amplificatore, e il negativo, o invertitore, è quello incaricato di chiudere il laccio di rialimentazione fino a massa. La tensione di uscita si calcola moltiplicando il segnale di entrata per il guadagno del circuito Vs = A x Ve. Il guadagno del circuito si ottiene dividendo il valore di R2 con R1 e sommando l'unità al risultato.

Si può cambiare il guadagno variando una resistenza

Il montaggio

Benché l'amplificatore operazionale abbia entrate di alimentazione simmetriche, permette anche l'alimentazione asimmetrica e, supponendo che le tensioni di uscita non si invertano, daremo un margine di uscita da 0 a 9, alimentando il circuito con questa tensione direttamente fra V6 e (-). L'uscita, il piedino 6 dell'operazionale, si connette alla resistenza R4 di polarizzazione del diodo LED 8. Possiamo portare l'entrata a differenti tensioni utilizzando i contatti da V1 a V6, perciò toccheremo ogni contatto delle pile per ottenere tensioni multiple da 1,5 a 9 V; in questo modo vedremo che i due diodi LED si illumineranno solo quando si applicano tensioni positive. In questo circuito le resistenze R1 e R2 sono dello stesso valore, pertanto il guadagno risulta 2. Vale a dire la tensione di uscita sarà il doppio di quella di entrata, per tensioni di entrata basse si apprezza la differenza di illuminazione fra il diodo LED 7, che si utilizza come testimone della ten-

Amplificatore non invertitore

COMPONENTI	
R1, R2	82K
R3, R4	2K2
U1	LM741
LED7, LED8	

saturiamo l'uscita, mentre all'entrata c'è una tensione molto minore, perciò i due diodi avranno una luminosità abbastanza diversa.

sione di entrata, e il LED 8, che è il testimone di uscita.

L'uso dei due diodi LED indicatori ci permette di verificare l'effetto dell'amplificazione dell'uscita rispetto all'entrata, soprattutto quando

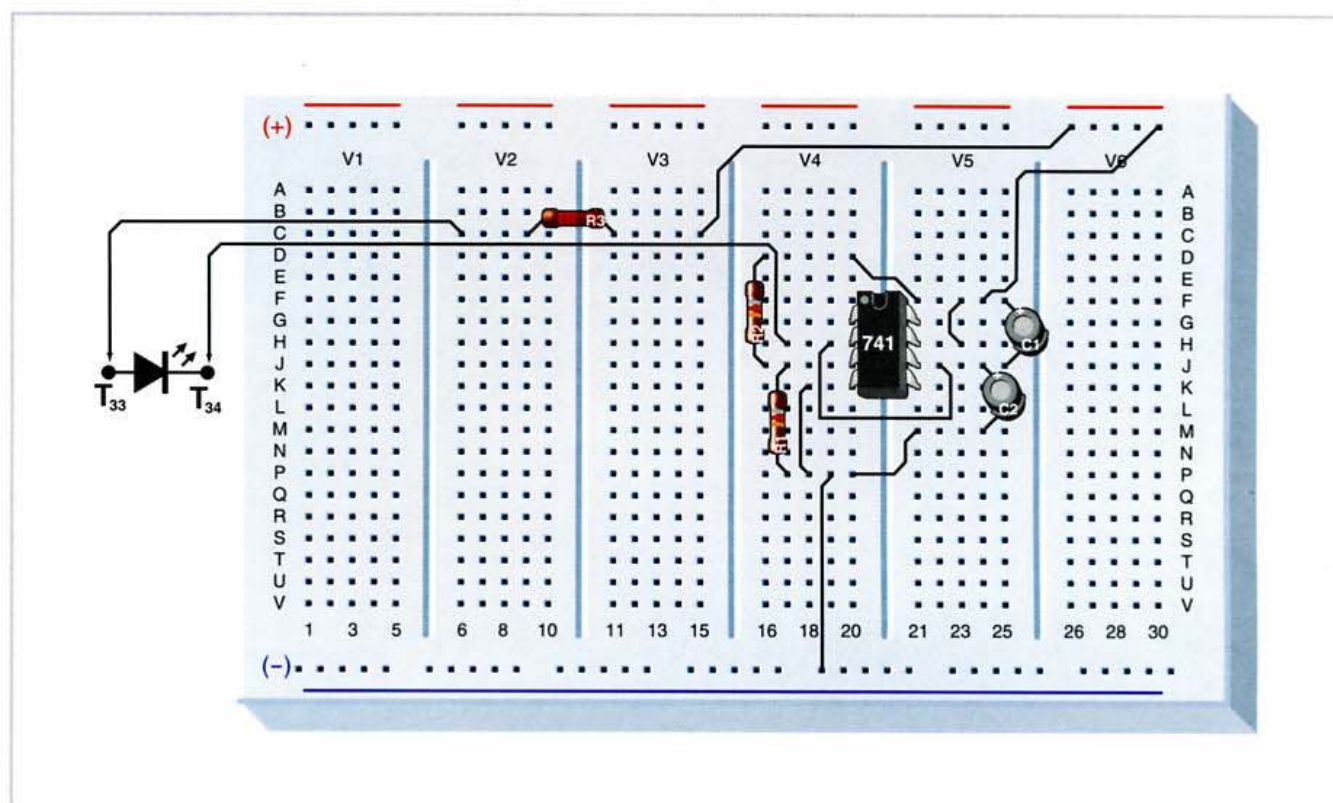
Le tensioni di entrata e di uscita si visualizzano attraverso i rispettivi diodi LED.

Esperimento

Per ottenere un guadagno unitario, cioè che la tensione di entrata sia esattamente uguale a quella di uscita, dobbiamo mettere una resistenza R1 molto maggiore di R2. Per esempio potremmo mettere R1=1M e R2=82K. Se al contrario vogliamo ottenere un grande guadagno nel circuito, possiamo invertire R2 e R1 in modo che il guadagno teorico sia (1M/82K+1)= 13,2.

In questo modo avremo sempre l'uscita saturata a 9 V se introduciamo tensioni multiple di 1,5 V e osserveremo che la luminosità del diodo è sempre la stessa.

Inseguitore di tensione

Il circuito si utilizza per amplificare corrente, mantenendo la tensione di uscita uguale a quella di entrata.

Questa è senza dubbio l'applicazione più semplice che si può dare a un amplificatore operazionale, poiché non necessita di alcun tipo di componente addizionale. Questo non diminuisce la sua importanza, poiché è un circuito di grande utilità in molte applicazioni. Si può utilizzare, per esempio, per ottenere alimentazioni simmetriche di basso consumo, o per amplificare la corrente di sensori di temperatura, umidità, precisione eccetera.

La tensione di uscita "segue" quella di entrata

Se ad esempio abbiamo un sensore che fornisce una corrente molte debole non possiamo collegarlo ad un circuito di bassa impedenza, perché equivarrebbe a collegargli in parallelo una resistenza che consumerebbe fino ad annullare o ridurre il debole segnale del sensore, basterà pertanto interporre fra questo circuito di bassa impedenza e il sensore un circuito inseguitore risolvendo così il problema.

Funzionamento

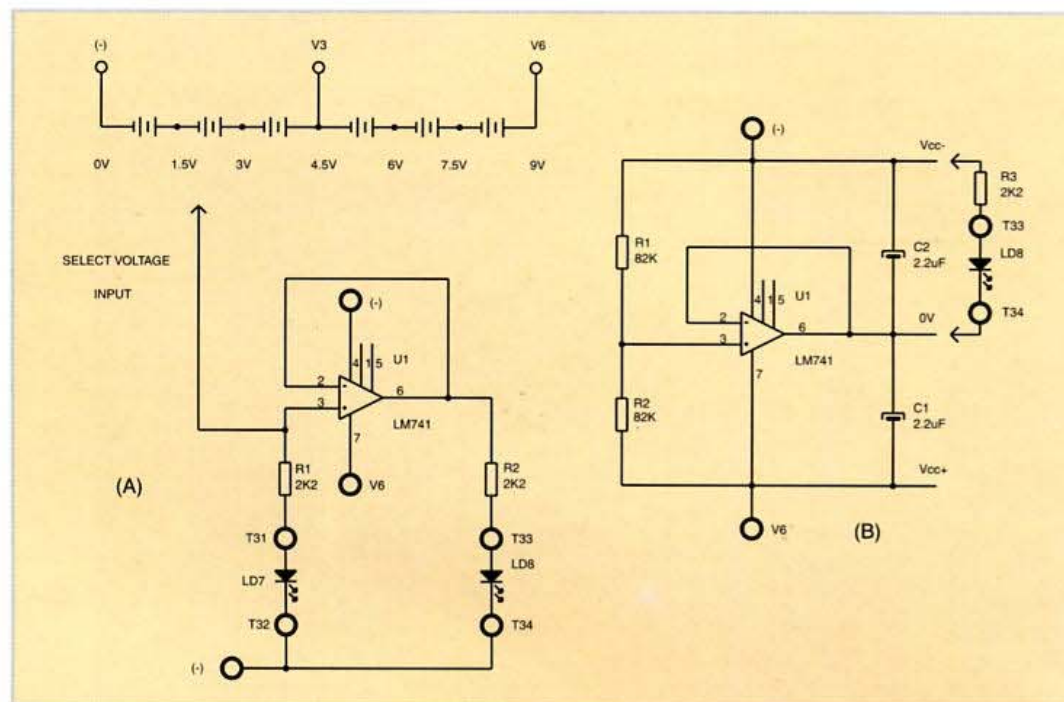
Andiamo ad analizzare rapidamente il circuito segnato nello schema con la lettera (A), per verificare che non presenta alcun tipo di problema. In primo luogo vediamo che ha l'uscita unita all'entrata V-, il che ci indica che c'è rialimentazione. La tensione di entrata è uguale a quella di uscita. Questo circuito ha come caratteristica molto importante la sua alta impedenza di entrata, ciò vuol dire che la sua entrata consuma pochissima corrente e pertanto non altera la corrente in uscita dei circuiti ai quali si collega.

Inseguitore

Il nome di inseguitore deriva dal fatto che la tensione di uscita segue le variazioni del segnale di entrata, che è praticamente lo stesso segnale, ma con la possibilità di fornire più corrente.

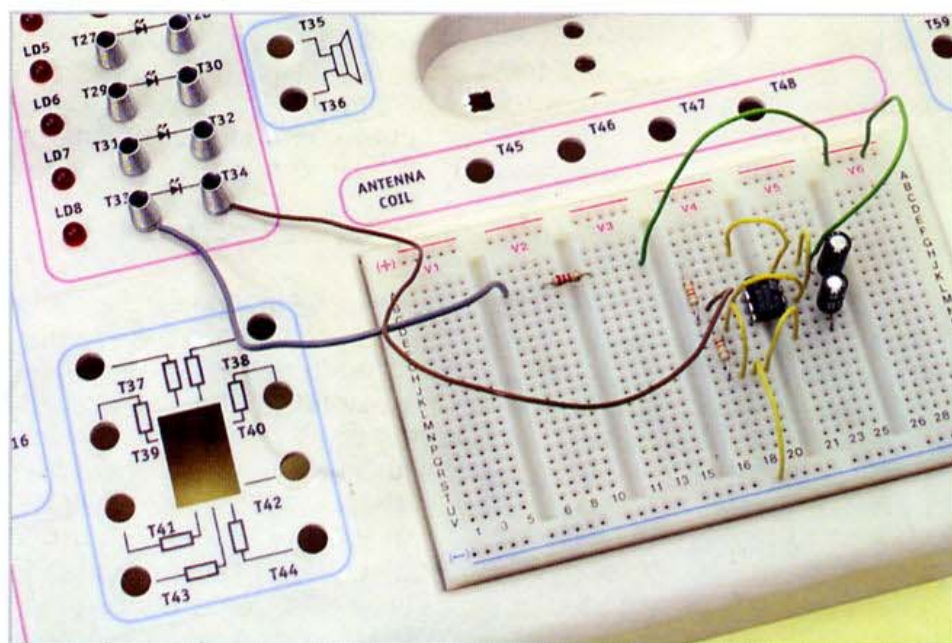
Per verificare il funzionamento del nostro circuito dobbiamo toccare ognuno dei contatti delle pile.

Poiché abbiamo un diodo LED in entrata e un altro in uscita, vedremo che la luminosità è esattamente la stessa quando esiste la stessa tensione in entrambi i punti.

Inseguitore di tensione

COMPONENTI	
Circuito A:	
R1, R2	**2K2**
U1	**741**
LED7, LED8	
Circuito B:	
R1, R2	**82K**
R3	**K2**
C1, C2	**2,2 μF**
U1	**741**
LED8	

Prove sperimentali

Andiamo a montare il circuito (B) per osservare come possiamo ottenere un'alimentazione simmetrica che può alimentare dei circuiti con consumo molto basso senza alcun problema. Con le resistenze dividiamo 9 V per introdurre 4,5 V nell'entrata V+, che sarà pertanto la tensione di uscita e che prenderemo come riferimento, in modo che fra questo punto e V6 si avrà +4,5 V e fra questo punto e (-) si avrà -4,5 V. Questo lo possiamo verificare collocando una resistenza di 2K2 collegata in serie con un diodo LED. Se colleghiamo fra Vcc- e 0 V il diodo LED non si illuminerà, perché sarà polarizzato all'inverso essendo la tensione negativa, perciò se invertiamo i cavi si illuminerà.

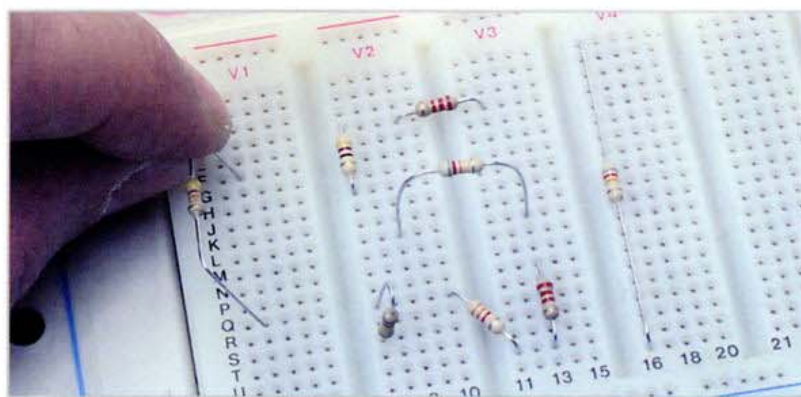
Se ora colleghiamo Vcc+ con il cavo che proviene dalla resistenza e quello del catodo del LED a 0 V, il LED si illuminerà. Questo circuito si può utilizzare per alimentare un altro amplificatore operazionale in modo simmetrico, a partire da una alimentazione asimmetrica. Questo circuito si può verificare con un diodo LED e una resistenza. Se colleghiamo la resistenza con il LED tra Vcc- e 0 V, il diodo LED non si illuminerà perché sarà polarizzato all'inverso, poiché la tensione è negativa, quindi se invertiamo i cavi si illuminerà. Se ora tocchiamo in Vcc+ con il cavo che è nella resistenza e quello del catodo T34 a 0 V si illuminerà.

Circuito che permette di ottenere una tensione simmetrica partendo da una asimmetrica.

Consigli e trucchi

Continua il montaggio del laboratorio, aggiungendo molle e preparando più cavi di interconnessione.

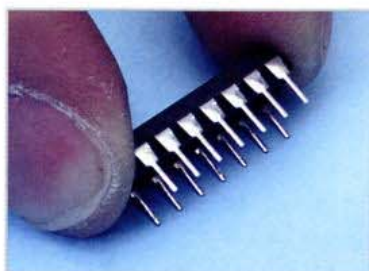
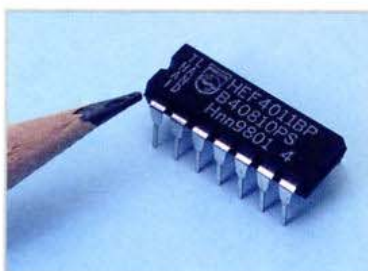
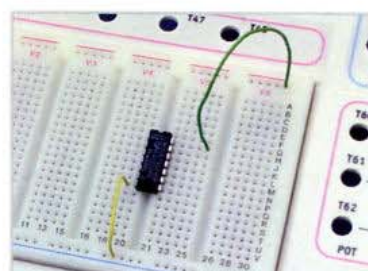
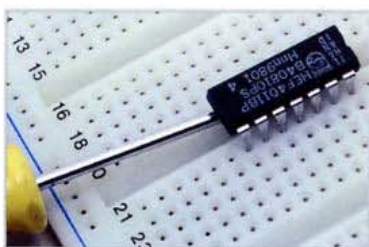
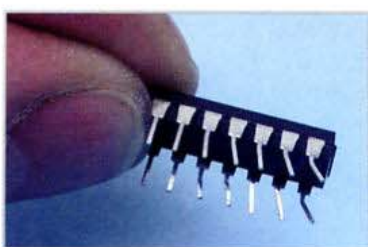
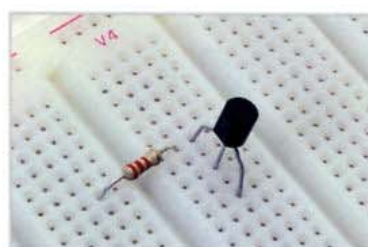
MATERIALI

1. Molle (4)

1 Si completa il collegamento dei diodi LED numero 5 e 6, si fornisce un cavo marrone di circa 1 m di lunghezza da dividere in quattro pezzi di 25 cm ognuno, che si utilizzeranno per collegamenti interni.

2 Non conviene tagliare i terminali delle resistenze, poiché possono servirci per realizzare dei ponticelli per effettuare le connessioni sulla piastra. Vediamo alcune forme di connessione.

Trucchi

Si raccomanda di utilizzare un cavo rigido di 0,5 o 0,6 mm di diametro con gli estremi spellati per 5 mm. Questi cavi potrebbero essere tagliati della lunghezza esatta, per adattarli a ogni montaggio, tuttavia, è più pratico avere pezzi di diversa lunghezza con gli estremi già spellati. Se ad ogni lunghezza si assegna un colore, sarà più facile scegliere quello giusto quando si fa il montaggio, ma dal punto di vista elettrico il colore non ha importanza. L'estremità del cavo si può deteriorare e rompere con l'uso, in tal caso si taglia un pezzo e si torna a spellare la punta per 5 mm, facendo attenzione a non tagliare il conduttore di rame, in modo che possiamo proseguire utilizzando il cavo. Dobbiamo avere 8 cavi gialli di circa 5 cm, 8 verdi di 10 cm, 4 grigi di 15 cm e 4 marroni di 25 cm.

Consigli e trucchi

3 I terminali dei circuiti integrati devono essere perfettamente allineati per facilitare il loro inserimento nel circuito; è facile allinearli appoggiandoli su una superficie dura.

4 Il piedino o terminale 1 dei circuiti integrati è vicino alla scanalatura di orientamento. Questo tipo di capsula con due file di piedini paralleli in linea si chiama DIL14.

5 I circuiti integrati si inseriscono in modo che i loro terminali siano su due differenti strisce per poter così sfruttare tutti i segnali provenienti dai piedini. Bisogna ricordarsi di collegare anche i terminali di alimentazione.

6 Per togliere un circuito integrato bisogna vincere la pressione che esercitano i terminali di contatto della piastra di prototipi, questo si può fare allentandolo un po' con un cacciavite che introdurremo con attenzione in entrambi gli estremi alternativamente.

7 Quando il circuito integrato non si toglie verticalmente si possono piegare i terminali, questa manovra può provocare la loro rottura. Ciò può accadere quando si cerca di togliere l'integrato manualmente, perché alzandolo prima da un lato e poi dall'altro, i terminali si possono piegare fino alla rottura.

8 I terminali dei transistor di bassa potenza si inseriscono in modo che ognuno rimanga in una fila diversa. Per collegare la resistenza di collettore basta spingere un terminale della stessa in uno dei punti della stessa fila del collettore del transistor.

9 Dettaglio di un condensatore ceramico. Ogni piedino si inserisce in una fila di punti di collegamento diversi. Sarebbe assurdo inserire i due terminali nella stessa fila, perché rimarrebbero uniti fra loro.

10 L'apparecchio ha già quattro diodi LED con terminali di connessione del tipo a molle. Il cavo marrone si divide in quattro pezzi di 25 cm, che si useranno per unire punti di collegamento distanti fra loro di una lunghezza uguale o minore a quella del filo.